

全国中等中医药学校教材

生物化学

(供中医士、针灸医士及中医护士)

主 编 辛 涛
主 审 郝琴媚

江苏科学技术出版社

全国中等中医药学校教材

生物化学

辛涛 主编

出版：江苏科学技术出版社

发行：江苏省新华书店

印刷：江苏新华印刷厂

开本 787×1092毫米 1/16 印张 15.75 字数 365,000
1990年11月第1版 1990年11月第1次印刷
印数 1—10,000册

ISBN 7—5345—0872—x

R·130

定价：3.85 元

责任编辑 王烈

前 言

卫生部曾于1960年组织北京、南京、上海、广州、成都等五所中医学院编写了一套中医中级教材，供全国中医学校和卫生学校中医班教学使用；1978年卫生部又组织编写了中等卫生学校有关中医课程的教材，为培养中等中医专业人才做出了贡献。

为适应中等中医教育事业的发展，加强各专业系列教材的建设，卫生部于1985年8月在山东省莱阳县召开的全国中等中医教育工作座谈会期间，制订了中医士、针灸医士、中药士、中医护士四个专业的教学计划，并组织了中医士、中药士、中医护士专业教材的编写工作，成立了各门教材编审组，实行主编单位和主编人负责制。同年11月及1988年5月在安徽省芜湖市先后召开了本套教材教学大纲两次审定会议，审定了中医士、中药士、中医护士和针灸医士等专业38门中西医药课程的教学大纲。为提高教学质量，在编写过程中，力求突出中医特色，体现中专特点；坚持理论联系实际的原则；以教学计划、教学大纲为依据，对本学科的基础理论、基本知识和基本技能进行较为全面的阐述，加强实践性教学内容的比重，并注意各门学科之间的联系，以提高教材的思想性、科学性、启发性、先进性和适用性。

本套教材包括《语文》、《中医基础学》、《中药学》、《方剂学》、《古典医籍选》、《中医内科学》、《中医外科学》、《中医妇科学》、《中医儿科学》、《中医五官科学》、《针灸学》、《推拿学》、《中医学概要》、《中药鉴定学》、《中药炮制学》、《中药药剂学》、《中药化学》、《内科学及护理》、《外科学及护理》、《妇科学及护理》、《儿科学及护理》、《中医食疗学》、《针灸推拿医籍选》、《经络学》、《腧穴学》、《刺灸学》、《针灸治疗学》、《中医伤科学》、《药用植物学》、《解剖学及组织胚胎学》、《生理学》、《病理学》、《微生物与寄生虫学》、《诊断学基础》、《药理学》、《内儿科学概要》、《外科学概要》、《生物化学》等38种。供中医药学校各专业使用。

教材是教师进行教学的主要依据，也是学生获得知识的重要工具。教材只有通过教学实践，并认真总结经验，加以修订，才能日臻完善与提高。为此，希望全国中等中医药学校师生和广大读者，在使用过程中提出宝贵意见，共同为我国中等中医药教材建设做贡献。

全国中等中医药学校教材编审委员会

1988年5月

编写说明

本教材是根据卫生部1986年颁发的(86)卫中字第第八号文件和国家中医管理局(87)国医中教字第十六号文件关于针灸专业课及各专业西医课的教学大纲编写要求进行编写的。在1988年5月芜湖会议上,根据各学科建议,国家中医管理局同意,本教材还要为中医士、针灸医士专业使用,因而在原中医护士专业大纲的基础上又增加了物质代谢调节和肌肉、神经组织生化等章节,对其他一些内容在深度广度上也做了适当延伸,并增编了第十七章“生物化学进展”,对某些必要的知识加以介绍。

教材内容以培养实用型人才为出发点,力求以基本理论、基本知识和基本技能为主,增加了一些基本实验,有意识地增加中医药的内容,还适当联系临床知识,为学习其他课程打下基础。

在兼顾各专业的前提下,力求突出重点,减轻学生负担,在文字叙述上尽可能做到精练简明、通俗易懂。但生物化学是一门基础课程,所以在章节安排上仍然保持了学科本身的系统性。原来设想,因目前仅供护士专业使用,故有相当一部分内容以小体字排版,做为学生自习参考,并根据初中生特点将结构式,反应式做放大处理,并突出其反应部位,但因故未能如愿。小体字只排了很少一部分,而结构式、反应式未能统一比例,因而内容显得较多,插图和反应式前后不够协调,希读者见谅。

尽管编者做了努力,但本书不可避免地存在其它缺点和错误,编者恳切地希望使用本书的老师和同学提出批评。

根据国家计量局规定,本书尽量采用国际单位,对部分尚无确切换算规定的项目,仍沿用惯用单位,有些虽已换算,亦可能有误。为了对照方便,书后附有部分换算对照表,请查阅。

本书由陕西中医学院郗琴媚副教授主审。另外,陕西商洛卫生学校张炳全老师、四川绵阳中医学校黄登源老师、四川达县中医学校龙中奇老师也提出了许多宝贵意见,在此一并致谢。

编 者

1990年10月

目 录

绪论	1
第一章 蛋白质化学	
第一节 蛋白质的分子组成	4
第二节 蛋白质的分子结构	6
第三节 蛋白质的理化性质	10
第四节 蛋白质的分类简介	12
第二章 核酸化学	
第一节 核酸的分子组成	14
第二节 核酸的分子结构	18
第三章 酶	
第一节 酶的化学本质及组成	22
第二节 酶促反应的特点	23
第三节 酶的作用机理	24
第四节 影响酶促反应的因素	27
第五节 同工酶	30
第六节 酶的命名原则及分类	31
第七节 酶与医药学	32
第四章 维生素	
第一节 维生素的命名与分类	35
第二节 脂溶性维生素	35
第三节 水溶性维生素	40
第四节 维生素与中医药	46
第五章 生物氧化	
第一节 生物氧化的方式和特点	50
第二节 生物氧化体系	52
第三节 生物氧化与能量代谢	56
第四节 生物氧化中二氧化碳的产生和生理意义	58
第五节 生物氧化与中医药	59

第六章 糖代谢

第一节 糖代谢概况	61
第二节 糖的分解代谢	62
第三节 糖原的合成、分解及糖异生作用	71
第四节 血糖	73
第五节 糖代谢紊乱	75
第六节 中医药与糖代谢	77

第七章 脂类代谢

第一节 脂类的消化、吸收及运输	80
第二节 脂肪的代谢	82
第三节 磷脂的代谢	87
第四节 胆固醇代谢	88
第五节 脂类代谢紊乱及中医药对脂类代谢的影响	91

第八章 蛋白质的分解代谢

第一节 蛋白质的营养作用	94
第二节 蛋白质的消化、吸收和腐败作用	96
第三节 氨基酸的一般代谢	97
第四节 个别氨基酸的代谢	104

第九章 核酸代谢与蛋白质生物合成

第一节 核酸的消化与吸收	109
第二节 核酸的分解代谢	109
第三节 核酸的合成代谢	110
第四节 蛋白质的生物合成	114
第五节 蛋白质生物合成与医药学的关系	118

第十章 物质代谢的相互联系和调节

第一节 物质代谢的相互联系	120
第二节 物质代谢调节	122

第十一章 血液

第一节 血液的化学成分	129
第二节 血浆蛋白质	130
第三节 红细胞代谢特点	132
第四节 铁的代谢	136

第十二章 水和无机盐代谢

第一节 体液	138
第二节 水平衡	140
第三节 电解质平衡	142
第四节 水与电解质平衡的调节	143
第五节 水、电解质平衡紊乱	144
第六节 钙、磷、镁代谢	146
第七节 中医药与水盐代谢	148

第十三章 酸碱平衡

第一节 体内酸性物质和碱性物质的来源	150
第二节 酸碱平衡的调节	151
第三节 酸碱平衡失调	157

第十四章 肝胆生物化学

第一节 肝脏在物质代谢中的作用	161
第二节 肝脏的生物转化作用	162
第三节 胆汁	165
第四节 胆色素代谢	166
第五节 肝功能试验的生化基础与临床价值	169
第六节 中草药对肝脏的保护作用	171

第十五章 肌肉组织生物化学

第一节 肌肉组织的微细结构和化学组成	172
第二节 肌肉收缩与松弛的分子机理	173
第三节 肌肉组织的能量代谢	177

第十六章 神经组织生物化学

第一节 神经组织的化学组成	178
第二节 中枢神经组织的代谢特点	178
第三节 神经递质的分泌、释放和功能	181
第四节 针刺对中枢神经系统内神经递质的影响	183

第十七章 生物化学进展

第一节 基因工程简介	185
第二节 衰老与抗衰老	187
第三节 微量元素	194
第四节 代谢调节的第二信使	198

实验指导

一、实验须知与基本操作	202
二、实验内容	203
实验一 酶的催化特异性	203
实验二 影响酶促反应的因素	204
实验三 吸收光谱分析法简介	206
实验四 血液葡萄糖测定(邻甲苯胺法)	211
实验五 血清尿素氮的测定	213
实验六 血清蛋白质醋酸纤维薄膜电泳(示教)	214
实验七 血清谷-丙转氨酶活性的测定(示教)	217
实验八 血浆二氧化碳结合力(CO_2CP)的测定(滴定法)	219
实验九 血清胆红素定性试验——凡登白试验	220
实验十 尿中胆红素、尿胆素原、尿胆素的检验	221
实验十一 尿糖定性试验	222
实验十二 尿中酮体的检测	223
实验十三 尿中蛋白定性	224
附录一 本书常用生化名词简称	227
附录二 临床生化常用单位换算表	231
全国中等中医药学校《生物化学》教学大纲	234

绪 论

一、生物化学的研究对象和任务

生物化学是一门研究生物体的化学组成及其变化规律的科学。它主要是运用化学的理论与技术来进行研究的。

生物化学的研究对象是各种生物体。根据研究对象的不同，可分为动物生物化学和植物生物化学。为了研究和工作的需要，还可直接以具体的研究对象或课题来命名，如病毒生物化学、核酸生物化学等。

生物化学的任务是阐述生物体的物质组成、结构、性质、作用及其与生命现象之间的关系，从而揭示生命活动的化学本质及规律。

以人体为研究对象的称为人体生物化学，它研究人体的物质组成、结构与功能以及人体内物质代谢的途径、调控机制、人体各组织器官的代谢特点与功能的关系。

二、生物化学的发展

生物化学是一门比较年轻的学科，它是在有机化学和生理学基础上发展起来的。根据生物化学的研究内容，可将生物化学分为三大领域或称三个阶段，即叙述生物化学、动态生物化学及机能生物化学。

叙述生物化学：研究生物体的物质组成，并阐述这些组成成分的化学结构、性质、功能及其在组织、器官中的分布、含量和存在形式。

动态生物化学：在了解生物体物质组成的基础上，进一步研究各种物质在体内的动态过程，即物质的分解、合成、相互转化、相互制约、能量转换以及酶、激素、维生素在这些过程中的作用。

机能生物化学：研究生物体内物质结构及其新陈代谢与生理机能之间的关系。

在生物化学发展过程中，这三大领域不能严格区分开来，它们是互相渗透、互相影响、互相促进的，如果没有对生物体物质组成的了解，就不可能对生物体成分的新陈代谢过程进行研究；如果没有对生物体的新陈代谢活动的深入研究，就不可能阐明生物体内的新陈代谢与生理机能之间存在着的密切关系。但时至今日，仍远远未能彻底了解生命的物质组成及其代谢变化与机能之间的关系。

三、我国劳动人民和科学家对生物化学发展做出的贡献

我国对生物化学现象的认识可溯到远古。古代劳动人民通过生产实践，很早就对酶、营养及医药等方面有许多发明创造，获得了许多有关生物化学方面的知识和经验，在生产和生

活中发挥了重要的作用。例如，在公元前21世纪，我们的祖先已能酿酒，相传夏人仪狄作酒，禹饮而甘之。作酒必用曲，俗称曲为酒母，其主要成分即是酶。公元前12世纪以前已能做酱，在《论语》上有“不得其酱不食”之说，这表明在周代酱已在民间广为食用，而酱亦是利用微生物体内的酶，对豆、谷进行发酵制成的。《天禄识余》记载有豆腐为汉淮南王刘安所造的传说，可见在公元前2世纪我国已能从豆类中提取并凝固蛋白质。《黄帝内经·素问》载有“五谷为养、五果为助、五畜为益、五菜为充”，将食物分为四大类，并以“养”、“助”、“益”、“充”表明其在营养上的价值，这在近代营养学中也是配制平衡膳食的一个基本原则。

在中医药的科学理论医籍中，有关生物化学的知识亦有不少记载，公元前4世纪，《庄子》已有瘰病(缺碘引起的地方性甲状腺肿)的记载；公元5世纪陶弘景所著《肘后百一方》中首先用海藻酒(含有丰富的碘)医治瘰病；公元7世纪巢元方所著的《诸病源候论》中记载的“雀目”，即由维生素A缺乏引起的夜盲症；唐朝孙思邈则首先用富含维生素A的猪肝治疗“雀目”。引人注目的是孙思邈还认识到脚气病(维生素B₁缺乏症)是一种食米地区的易发疾病，并进行了分型，同时提出了用车前子、防风、杏仁、大豆、槟榔等治疗的方案。公元10世纪已开始用动物的脏器组织治疗疾病，如用紫河车(胎盘)作强壮剂，羊靥(包括甲状腺的羊头部肌肉)治甲状腺肿，蟾酥(蟾蜍皮肤疣的分泌物)治创伤，羚羊角治中风，鸡内金消食健胃及止遗尿等。由此可见，我国古代劳动人民和一些医药学家已具有一定的生物化学知识，并对生物化学的发展作出了应有的贡献。

公元17世纪以后，由于清朝政府采取了闭关自守的政策，遏制了我国科学事业的发展，使近代生物化学处于停滞状态。而此时欧洲却走在了前面。

近百年来，由于帝国主义的侵略及解放前国民党反动统治的摧残，自然科学的发展大为落后，所以在我国近代生物化学成为单独的学科显得较晚。20世纪20年代后期，我国老一辈的生物化学家在蛋白质化学、免疫化学、营养学等方面仍作了不少工作，如生物化学家吴宪提出的蛋白质变性学说是当时最完备的学说，其基本观点至今仍然是正确的。他还在血液分析方面创立了无蛋白血滤液的制备和血糖测定方法，为近代临床生化学作出了不可磨灭的贡献。

新中国成立后，我国生物化学同其他科学一样有了长足的发展，并在一些重要领域内取得了高水平的成果，其令人瞩目的是我国在1965年首先用化学方法人工合成了具有生物活性的蛋白质——结晶牛胰岛素，1981年又在世界上首次人工合成酵母丙氨酸转移核糖核酸，在1985年我国首先完成了天花粉蛋白质一级结构的测定工作，同年，科学家汤健在国际上首先提出并证实了心脏是一个内分泌器官的新观点，这不仅打破了三百年以来由英国生理学家威廉·哈维提出的“心血管是一循环动力系统”的立论，亦为心功能的研究揭开了新的一页。1988年谢小松与斯通合作在世界上首次发现并证明牛脑细胞内存在的第三类质子泵。上述事例说明，我国生物化学正向世界先进水平迈进。

四、生物化学与医药学的关系

生物化学近20年来发展尤为迅速，在理论和技术上均获得很大进展，而且已渗透到生物学科的各个领域以及工农业生产的部分领域当中，如基因工程学的诞生和发展就是其中突出的一例，现在人们已经可以用大肠杆菌生产人胰岛素、干扰素等。我国已于1989年10月在长春生物制品研究所建成基因工程干扰素生产基地，这标志着我国已进入世界上生产干扰素为

数不多的国家的行列。

生物化学是重要的医学基础学科之一。近年来,生物学、组织学、生理学、微生物学、药理学和病理学等的研究,也都深入到分子水平,并经常运用生物化学的理论和技術去解决各学科的问题。如分子药理学就是运用生物化学的理论和技術,从分子水平去探讨药物对酶的活性、激素的作用以及对代谢的影响。同样,生物化学与临床医学、预防医学的关系也非常密切。近代医学的发展,不仅经常运用生物化学的理论与技術去解决疾病的诊断、治疗和预防等问题,而且许多疾病的病因也都需要从分子水平上去加以探讨。如对人类危害极大的癌症,尽管目前对病因、发病机理还不十分清楚,但已大致了解癌变的本质是由于物理、化学或生物因素直接或间接作用于脱氧核糖核酸(DNA)分子而引起基因突变或基因表达失控、失灵,继而表现出蛋白质、酶及细胞表面成分的改变,结果造成细胞形态异常、恶性增长及转移。因此,要制服癌症,生物化学是不可缺少的武器。令人可喜的是生物化学的理论与技術已渗透到中医中药学的某些领域,已有人运用生物化学的技術进行中草药成分与治疗作用的关系的研究,为解释某些药物的治疗作用和寻找新的药源做出了贡献。有些学者已运用生物化学的理論去解释诸如卫、气、营、血和阴阳等中医理論,使人们对祖国医学的发展寄予了鼓舞人心的希望。已经有人用生物化学的实验技术证实了肾阳虚患者肾上腺皮质功能明显低于正常人。近年来,对微量元素与中医辨证关系的研究,有了开拓性的进展,对中医辨证的定量化有新的充实。如阴虚患者铜明显升高,锌明显降低,锌铜比值显著下降。气虚患者血清铜、锌明显低于正常人组,铁、镁及铜锌比值变化不大。又如急慢性肝炎患者,凡舌质红或紫红,血清锌较健康人明显降低,血清铜则明显升高。可见,生物化学的发展必将促进医学理論的深入与发展。有人把20世纪预言为分子生物学世纪,医学分子生物学知識的不断形成和扩充,必将为从事医学实践的各科人员提出更多更新的课题。

复 习 题

1. 什么是生物化学? 它的任务是什么?
2. 举例说明我国古代与现代对生物化学所做的贡献。
3. 如何理解生物化学是医药专业的一门重要基础理論课程? 怎样才能学好它?

陕西渭南中医学校 辛 涛

第一章 蛋白质化学

蛋白质是构成生命最基本的物质之一，它与生命活动有着十分密切的关系，生命现象和生理活动都是通过蛋白质来实现的。

第一节 蛋白质的分子组成

一、蛋白质的元素组成及特点

根据蛋白质的元素分析，发现蛋白质的元素组成有一个重要特点，就是一切蛋白质均含有氮，而且含量相近(13~19%)，平均约为16%，即1g氮相当于6.25g蛋白质。因此，只要测定生物样品中的含氮量，就可推算出其中蛋白质的大约含量。

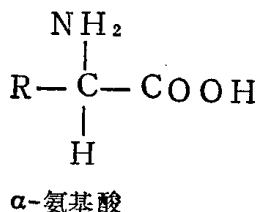
1g样品中含氮克数 $\times 6.25 \times 100 =$ 蛋白质含量(g%)。

蛋白质除含氮外，还含有碳(50~56%)、氢(6~8%)、氧(19~20%)和少量的硫(4%以下)，有的蛋白质还含有其他一些元素，主要是磷、铁、铜、锌、锰、碘等。

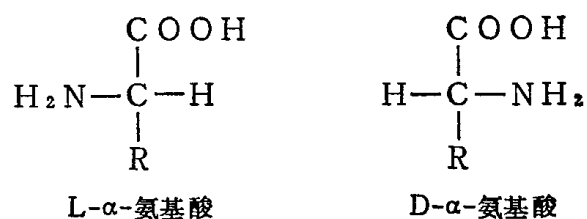
二、组成蛋白质的单位——氨基酸

用酸、碱或酶完全水解任何一种单纯蛋白质，其最终产物都是氨基酸。因此，氨基酸是组成蛋白质的基本单位。

从蛋白质水解物中分离出来的氨基酸主要有20种，这些氨基酸在结构上的共同点是与羧基相邻的 α -碳原子上有一个氨基，故称为 α -氨基酸。结构式如下：



R代表氨基酸的侧链部分，各种氨基酸的差异都表现在R这部分上。除甘氨酸的R为H($\text{H}_2\text{N}\cdot\text{CH}_2\cdot\text{COOH}$)外，所有氨基酸中的 α -碳原子均为不对称碳原子，因此都有光学异构现象。并且由于 α -氨基在空间排列位置的不同，又可有两种构型——D型和L型。当氨基酸的羧基固定在顶端时，氨基定位在 α -碳原子右边的为D型，氨基定位在 α -碳原子左边的为L型。人体蛋白质中的氨基酸，均属L型 α -氨基酸。



氨基酸的分类有这样几种方法：根据R侧链的结构不同，可将氨基酸分为脂肪族氨基酸、芳香族氨基酸、杂环氨基酸；根据R侧链上酸性或碱性基团的数目，可将氨基酸分为中性氨基酸、酸性氨基酸和碱性氨基酸。根据R侧链有无极性，可分为极性氨基酸（侧链含有羧基、氨基、羟基、巯基等基团）和非极性氨基酸（侧链含有烃基、苯基、吲哚基等基团）（表 1-1）。

表 1-1 组成蛋白质的20种氨基酸的名称与结构式

名 称	结 构 式
丙 氨 酸 (丙)	$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
缬 氨 酸 (缬)	$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
亮 氨 酸 (亮)	$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
异亮氨酸 (异)	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
脯 氨 酸 (脯)	$\text{H}_2\text{C} \begin{array}{l} \text{H}_2\text{C}-\text{CH}(\text{NH})-\text{COOH} \\ \text{H}_2\text{C}-\text{NH} \end{array}$
苯丙氨酸 (苯丙)	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
色 氨 酸 (色)	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
蛋 氨 酸 (蛋)	$\text{CH}_3-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
甘 氨 酸 (甘)	$\text{H}-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$
丝 氨 酸 (丝)	$\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$

续上表

名 称	结 构 式
苏 氨 酸 (苏)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$
半胱氨酸 (半胱)	$\begin{array}{c} \text{HS}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
酪 氨 酸 (酪)	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
天冬酰胺 (天-NH ₂)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
谷氨酰胺 (谷-NH ₂)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
天冬氨酸 (天)	$\begin{array}{c} \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
谷 氨 酸 (谷)	$\begin{array}{c} \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
赖 氨 酸 (赖)	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
精 氨 酸 (精)	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{NH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$
组 氨 酸 (组)	$\begin{array}{c} \text{HC}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{N} \quad \text{NH} \\ \diagdown \quad / \\ \text{C} \\ \\ \text{H} \end{array}$

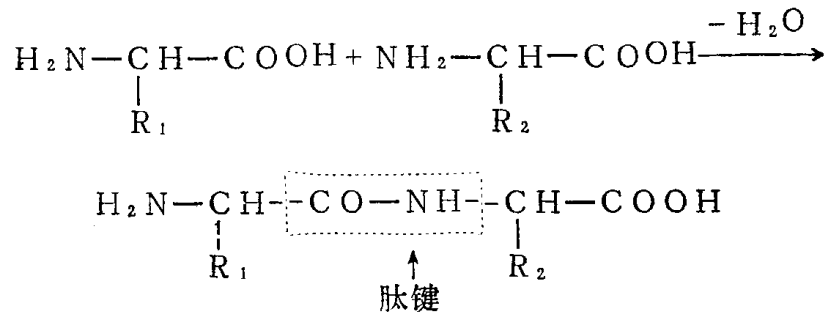
第二节 蛋白质的分子结构

一、蛋白质的一级结构

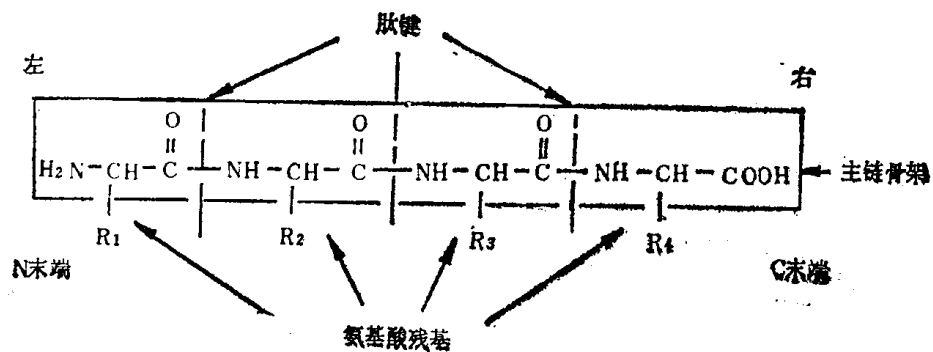
蛋白质分子中所含氨基酸的数目虽然只有20种，但不同蛋白质中所含氨基酸的种类和数量不同，其数量可达几十、几百、几千甚至几万。同时，各种氨基酸在蛋白质分子结构中的排列顺序不同，也可以形成无数种蛋白质。

现已证明，组成蛋白质分子的各种氨基酸，是由一个氨基酸的 α -羧基与另一个氨基酸的

α -氨基缩合脱去 1 分子水形成的酰胺键即肽键($\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—N—}$)而互相连接起来的，此键是蛋白质分子中的主键。氨基酸通过肽键连接而成的化合物称为肽。



由两个氨基酸缩合而成的化合物称为二肽，由三个、四个、五个等氨基酸组成的化合物，分别称为三肽、四肽、五肽等。多个氨基酸形成的肽则称多肽。因多肽呈链状，故又称多肽链。在多肽链中的氨基酸称为氨基酸残基。多肽链一端保留着一个自由的 α -氨基，称为氨基末端(或称 N 末端)，通常写在左侧；另一端保留着一个自由的 α -羧基，称为羧基末端(或称 C 末端)，通常写在右侧。现以四肽为例说明上述规则。一般把蛋白质多肽链中氨基酸的排列顺序叫做蛋白质的一级结构。这是蛋白质最基本的结构。



二、蛋白质的空间结构(构象)

蛋白质的空间结构也称高级结构，指的是蛋白质分子的原子和基团在三维空间上的排列、分布及肽键的走向。

多肽链进一步折叠或卷曲成由氢键和二硫键维系在一起的螺旋状结构或片层状结构，称为蛋白质的二级结构。螺旋状结构中，相邻的螺旋圈之间借氢键互相连接，保持其稳定的构象，称为 α -螺旋状结构(图 1-1)。片层状结构是多肽链中，构成肽键的 C、O、N、H 四个原子处于一个平面上，故称为肽键平面。肽键平面两端的 α -碳原子可以旋转，因而相邻的肽键平面可以折叠成锯齿形称为 β -片层结构(图 1-2))。

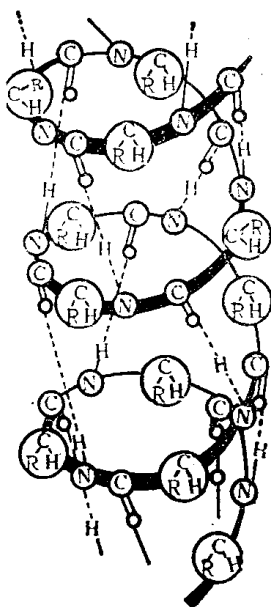


图 1-1 蛋白质分子的 α -螺旋结构

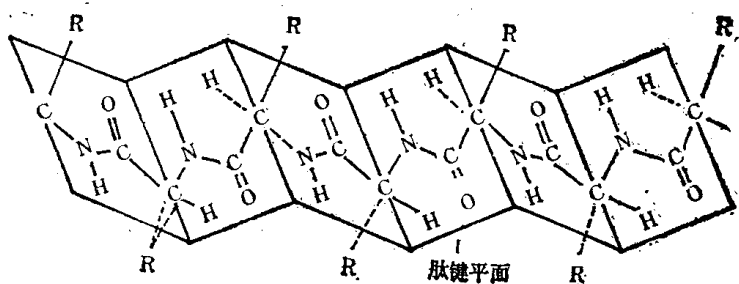


图 1-2 蛋白质分子的片层结构

形成螺旋状、片层状结构的多肽链又可借助于疏水键或氢键再进一步卷曲、折叠形成更复杂的空间结构，称为蛋白质的三级结构。

有些蛋白质是由两条或两条以上具有三级结构的多肽链以非共价键聚合成一定空间结构的聚合物，称为蛋白质的四级结构。其中，每条具有独立三级结构的多肽链称为四级结构的蛋白质中的1个亚基。例如，血红蛋白是由4个亚基即两条 α 链和两条 β 链通过8个盐键而聚合起来的结合蛋白质。

[附]蛋白质分子中的各种副键

蛋白质分子中除了肽键之外，还有许多其它键，称为副键，也称为次级键(图1-3)。

1. 二硫键：不同肽链或同一肽链不同部位的两个半胱氨酸能够形成二硫键，使肽链结合起来。
2. 氢键：蛋白质分子中一个电负性较大、原子半径较小的原子(如N、O、S)所连接的氢原子和另一个电负性原子相互作用而形成的键称为氢键。氢键虽然是副键中最弱的，但因为肽链中形成氢键的可能性很多，所以它是最重要的一种副键，也是蛋白质形成二级结构的基础。

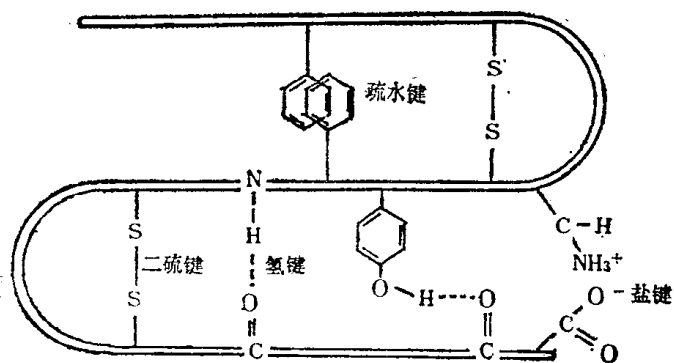


图 1-3 蛋白质分子中的副键示意图

3. 疏水键：在蛋白质中，中性氨基酸的非极性侧链有一种避开水象而互相缔合的趋向，这种趋向力称为疏水键。它在维持蛋白质的结构方面起着重要作用。

4. 盐键：蛋白质分子中各种各样带有正、负电荷的侧链，除静电吸引之外，在结构与环境合适的条件下能够形成合适的离子对，叫离子键，即盐键。

此外，范德华引力对蛋白质分子保持稳定的构象也有一定作用。

三、蛋白质结构与功能的关系

各种蛋白质所以表现出各自的特殊性和不同的生物学功能，一方面是因多肽链中所含的氨基酸种类、数目、比例和排列顺序不同所致；另一方面是因多肽链形成的空间结构不同所致。因而，蛋白质分子中的任何一方面发生细微的改变，就可能影响其生理功能。如人的血红蛋白(HbA)是由两条 α 链和两条 β 链与辅基血红素所组成，共计574个氨基酸。镰刀形红细胞贫血，就是由于 β 链中的第六位氨基酸—谷氨酸被缬氨酸所取代，这一微细结构的改变使红细胞呈镰刀形(正常红细胞呈双凹盘形)，其运氧能力降低，且易破裂引起严重的贫血(图1-4)。又如加压素和催产素这两种脑垂体后叶激素都是九肽(图1-5)，仅有两个氨基酸互不相同，但其生理作用却有很大区别。加压素主要是促进血管收缩，升高血压，促进肾小管对水的重吸收，故有抗利尿作用。而催产素的作用是促进妊娠末期的子宫收缩，并能促进排乳。可见蛋白质的一级结构与功能有密切关系。

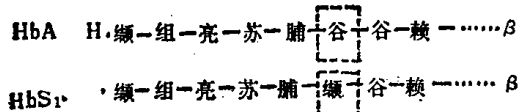


图1-4 正常HbA与镰刀形贫血HbS的比较

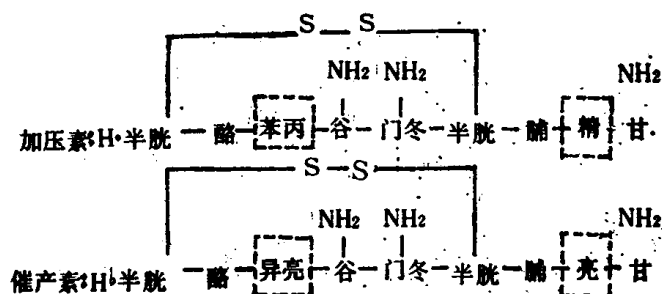


图1-5 加压素与催产素的比较

蛋白质的功能还与复杂的空间结构直接相关。血红蛋白是具有四级结构的蛋白质，它共有四个亚基，每个亚基中含有一个血红素(图1-6)。血红素处在多肽链的包围之中，血红蛋白与氧的结合就是通过血红素中的铁原子与氧进行可逆的结合来实现的。由于四个亚基借八个盐键来连接，使得亚基彼此靠近，从而维持其稳定的构象。但此种构象不利于血红蛋白与氧的结合，故血红蛋白与氧的结合比单个亚基还弱。但当一个亚基与氧结合后，引起亚基间盐键断裂，血红蛋白的四级结构发生变化。导致其他亚基与氧结合点的暴露，增大了其与氧的亲合力，促进了与氧的结合。随着盐键的全部断裂，整个血红蛋白变为氧合血红蛋白。由此说明血红蛋白空间构象的改变具有重要的生理意义。

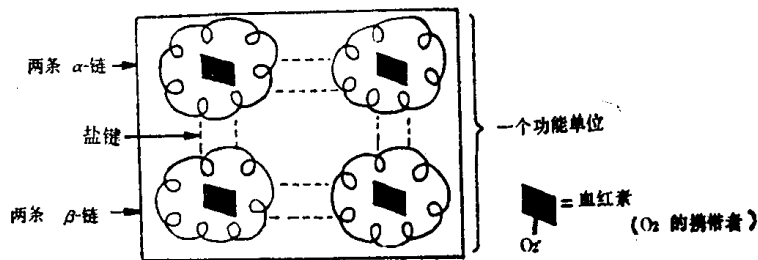


图1-6 血红蛋白的四级结构

又如胰岛素是由A链和B链两条多肽链组成的蛋白质，A链上有21个氨基酸，B链上有30个氨基酸，以二硫键作为两条多肽链之间或一个多肽链不同部位之间连接的桥梁(图1-7)。当二硫键遭到破坏后，胰岛素失去激素的活性。所以蛋白质的结构是体现生物学功能的物质基础，一旦结构发生改变，即可导致生物活性的改变。